

1. AFDEX_V18R02 출시

1.1 신버전 출시 계획 및 특징

AFDEX_V18R02가 8월 14일에 출시될 예정이다. 이번 신버전은 올해 4월에 배포된 AFDEX_V18R01의 기능을 개선한 패치버전이다. AFDEX V18에서 주요 추가된 기능과 수정된 기능은 아래의 표에서 확인할 수 있다.

Table 1.1 New functions or improvements of AFDEX_V18

	Functions or improvements
2D and 3D	-Simulation considering die elastic deformation with shrink fit considered -Repetitive simulation between specific steps -Simulation considering elastic deformation of press -Analysis of heat transfer among assembled dies -Structural analysis of assembled dies -Control of penetration of material into the gap between dies -Calculation of shortest distance between nodal points and dies -Improved computational speed -Improvement of node separation algorithm -Improved Brozzo damage model -Function of contact exclusion during structural analysis of assembled dies -Prediction of hardness based on experimental formula -Improved heat transfer analysis function -Improved frictional conditions as a function of temperature, pressure and strain -Improved heat transfer coefficients as a function of temperature and pressure -Local mesh density control -Improved initialization of material at each stage -Function of limited temperature increment per step -Improved coupled flow analysis with damage -Treatment of rigid-body motion of material and die -Forced remeshing before new or continuing run -Material removal function -Improved Freudenthal damage model -Microstructural evolution prediction function -Heat treatment analysis function
	-Boolean operation -Process design optimization using HyperStudy -Improved determination of the final stroke when non-standard dies are employed -Improved mesh density control of dies -Die geometry defined by a connection of die points -Improved description of dies -Improved convergence of multi-body function
3D	-Improved computational speed -Improved function of pusher in open-die forging including rigid body condition -Improved algorithm of step size and contact for open-die forging -Improved mandrel control for swaging, radial forging, and open-die forging -Improved algorithm for separating contact node -Improved temperature analysis in dwelling/transferring -Addition of stroke control based on distance when axisymmetric die is used in 3D -Improved rotating die function -Improved non-isothermal analysis of a screw/hammer forging process -Hydrostatic forming function -Air trapping treatment -Improved pusher for open-die forging -Improved initialization of state variables -Composite material treatment -Improved function of ring rolling simulation -Evolving function of a rotating die -Specialized remeshing for ring rolling simulation -Compensation of volumetric change due to remeshing -Elementwise compensation scheme for volume change -Back pressing function of manipulator and pusher -Exactly positioning of periodically moving die -Practical 3D point tracking -Improved open-die forging function -Multi-body analysis without remeshing (Manual) -Larger scale problem solver -3D quantification of grain flow (metal flow lines)

2. 적용 사례 소개

2.1 단류선을 고려한 공정 최적설계

최근 경상대학교 소성가공 CAE 연구실에서 단류선의 정량화 기법이 개발됨으로써 AFDEX를 이용한 단류선 고려 공정 최적설계가 가능하게 되었다. 현재 AFDEX가 속해 있는 Altair APA의 HyperStudy를 이용한 2차원(평면변형, 축대칭) 공정의 최적설계 기술의 실용화가 진행되고 있다.

적용 사례로 단류선의 상하 대칭성을 엄밀하게 요구하는 1세대 허브 베어링 외륜의 단조공정 최적설계에 적용하였다. 그림 1은 3단 단조공정이며, 브로커 공정의 행정거리(s)를 설계변수를 나타낸다.

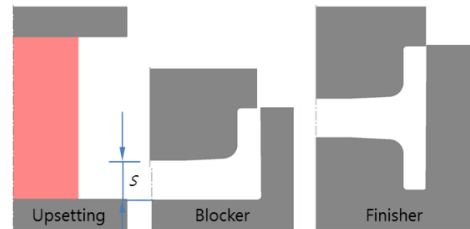


그림 1. 단조공정 및 설계변수

베어링 외륜 단류선의 상하 대칭성을 만족시키기 위한 방법, 즉 목적함수의 설정 방법은 다양할 수가 있다. 이 예제에서는 단류선 함수 그 자체를 목적함수로 사용하는 가장 단순하면서도 근본적인 방법을 사용하였다. 즉, 그림 2의 최종 형상에서 대칭적 위치에 놓인 두 점에서 정의되는 단류선 함수값, 즉 초기 x-좌표가 동일하면, 최종 형상에서 단류선은 상하 대칭을 만족하게 된다. 따라서 최종형상에서 상하 대칭적 위치에 놓인 두 점에서 정의되는 단류선 함수값의 차이를 목적함수로 정하였다. 자동 최적설계 기능을 이용하여 사용자 개입없이, 약 4시간의 계산 끝에 최적 공정설계가 이루어졌다. AFDEX 2D와 3D 모두 자동해석 기능이 강력하기 때문에 공정 최적설계에 강한 소프트웨어로 발전하고 있다.

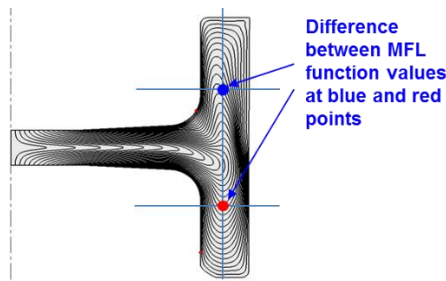
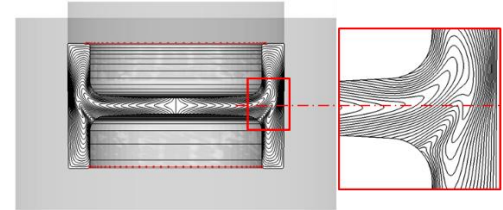


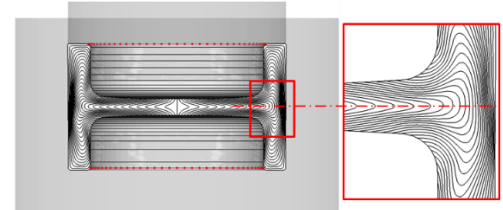
그림 2. 최적설계 목적함수

그림 3(a)는 공정 최적화 설계 직전의 해석결과이며, 그림 3(b)는 최적화된 공정에 관한 해석 결과를 보여주고 있다. 최적설계 결과에서 볼 수 있듯이 단류선 최적화 기술이 상당히 유용하게 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

현재 단류선을 고려한 최적 공정설계 기술은 다양하게 연구 개발되고 있다. 단류선의 가시화 및 정량화 기술이 AFDEX의 고유 기술이므로 이 분야에서 AFDEX의 발전이 기대되는 상황이다. 최적 공정설계의 적용성 제고를 위한 사용자들의 적극적인 관심과 공동적용 연구의 수행을 당부 드린다.



(a) 초기설계



(b) 최적설계

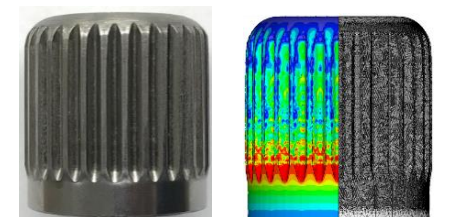
그림 3. 단류선 고려 공정 최적설계

2.2 박벽중공축의 축방향 성형에 관한 고찰

튜브 종류의 축방향 성형이 자주 사용되고 있다(P. Grupp, 2012, ICFG 2012, Nagoya Japan, 9-12). 파이프의 끝 부분을 압출하여 형상을 성형하거나 스플라인을 성형하는 경우가 그 예이다. 파이프 또는 중공축 소재가 길 경우, 성형 중 소재의 중간 부분을 고정시켜야 할 수밖에 없는 경우가 있다. 이러한 공정에서 소재 체결력의 영향을 무시할 수 없다. 왜냐하면, 축방향 성형력을 지지하기 위하여 마찰력이 작용해야 하고 이것을 유지하기 위해서는 반경방향으로의 힘의 작용이 필수적이며, 이 힘은 축력과 합하여 체결기구의 끝 주위의 소재의 소성변형을 유발할 수가 있다. 그림 4에 진동부과 축방향성형(Recursive axial forming)을 그 사례로 나타내었다.



(a) 초기소재



(b) 끝부분 성형

그림 4. 진동부과 축방향 성형

전통적으로 체결기구에 의하여 지탱되는 부분에 속도 또는 변위 구속을 부과하여 성형해석을 중점적으로 실시하고 있다. 물론 소재의 반대편을 단순지지하고 있다면, 전통적인 해석 모델은 유효하다. 그러나 두께가 작아 반경방향으로 역학적으로 취약한 소재에 대해서는 상황이 크게 다르다. 여기서는 전통적인 해석 모델의 한계를 보여주는 예제를 소개한다.

그림 5(a)는 중공 소재에 상단 부에 축방향 하중 80 kN이 작용하는 축대칭 탄소성 유한요소해석 문제의 해석모델이다. 그림 5(b)는 체결장치(clamping jaw)의 실공정을 축방향으로 하중을 가하는 것으로 이상화한 했을 때의 최종 상태에서의 유효응력이다. 그림 5(c)는 체결장치를 해당 소재에 길이방향의 자유도를 구속시킨 해석조건에 대한 해석결과이다. 그림 5(c)의 유효응력의 분포로부터 실공정은 적절하다고 결론지을 수

있다. 그러나 그림 5(a)에서 보는 바와 같이 하중 80kN을 지지할 수 있도록 하기 위하여 약 400kN의 반경방향 힘이 작용하도록 한 이후에 축방향 하중을 부과하는 공정의 해석 결과로부터 실제의 상황은 그림 5(c)와 크게 다를 수 있음을 확인할 수 있다. 다시 말하면, 체결장치에 의하여 응력이 크게 증가하였으며, 이것은 상황에 따라서 불량률 유발시킬 수 있다. 따라서 긴 박벽중공축 또는 파이프의 축방향 성형에서 성형하중의 최소화는 매우 중요하며, 진동부와 성형 공법이 한 사례이다.

이러한 해석을 하는데 있어 축대칭 기능의 활용을 강력하게 추천한다. 왜냐하면, 3차원의 경우, 특히 탄소성 유한요소해석일 경우, 요소망 조밀도의 한계 문제도 있지만 대칭조건 등의 처리에 있어 정교함이 떨어질 수밖에 없기 때문이다. 해결할 수 있는 문제라면, 사고가 동반되는 2차원 기능의 활용이 진정한 엔지니어링이라고 할 수 있다.

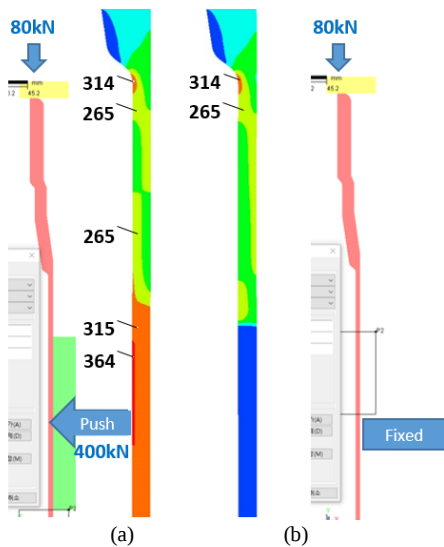


그림 5. 체결력의 고려 유무에 따른 동일하중 (80 kN)에 의하여 소체에 작용하는 응력 (MPa). (a) 체결장치 고려 해석결과, (b) y-방향 고정경계조건 하에서의 해석결과

3. 차원과 단위 체계에 관한 고찰

3.1 규약의 오용 사례와 그 심각성

몇 개월 전에 새로 이사한 아파트 입구의 전광판에서는, 단지내 속도가 시속 20Km임을 열심히 알리고 있었다. 나는 관리실에 전화하여 Km을 km로 바꾸어 줄 것을 강력하게 요청하였다. 대부분 이것이 뭐 그렇게 중요하냐고 되묻기 때문에 이 장면에서 나는 매우 공격적으로 변하는 습성이 있다. 어찌 이래 놓고 혁신이라고 이름붙일 수 있느냐? 이 정도는 해야 간혹 고쳐지기 때문이다.

이런 일도 있었다. 과거 114에 전화번호를 문의하면, 02-7321-0003을 공이에 칠삼이일 공공공삼입니다. 공이에 칠천삼백이십일에 삼입니다. 지금은 공이에 칠삼이일 공공공삼을 두번 반복하고 있다. 이렇게 하도록 한 것이 바로 내다. 과거에는 실수를 너무 자주 했던 기억이 난다. 그 이유를 자세하게 설명하지 않아도 이것이 우리를 바보로 만드는 상술임을 누구나 알 수 있는 것이다. 이 때, 그 압박이 필요한 것이다. 114 운영 회사가 돈을 버는 사이, 국가적인 통신 낭비와 업무 방해는 무엇으로 보상할 것인가? 지금은 전화 잘못 걸어오는 빈도가 훨씬 줄었을 것이다. 114의 관련 책임자를 압박해서, 서울은 변경 요청한 바로 그 주에 바뀌었고, 한달만에 전국 모두 다 바뀌었다. 그리고 그 책임자가 나에게 그 결과를 보고하였다. 이것은 국제 관습을 국가적 차원에서 여기는 국민의 호주머니를 넘보면서 국가를 쪼먹는 나쁜 짓이기 때문에 강하게 압박해야 할 일인 것이다. 배우면 뭐하냐는

말이 어디에나 있을 수 있다. 그리고 국가나 사회를 향하여 주먹을 쥐고 구호를 외치지 않고도, 혈세를 달라고 하지 않고서도 기여할 일은 많은 것이다.

하여튼 지금 내가 사는 아파트는 최소한 그런 아파트에서 벗어났다. 나는 매일 출퇴근할 때마다 20 km를 보면서 즐거운 미소를 짓는다. 특히 아침에는 오늘도 웃자고 다짐을 하면서...

몇 년 전의 일이다. 서울의 휘경역에 가면 엘리베이터가 몇 개 있는데 그 당시 거기의 엘리베이터 중에 단위를 올바르게 사용한 것이 많지 않았다. 국내 굴지의 엘리베이터 제조사가 만든 걸 모양 좋았던 그 엘리베이터도 역시 Kg를 사용하고 있었다. 그래서 그 회사의 연구소장에게 직접 전화를 했었는데, 아직도 그 연구소장의 황당한 답변이 잊혀지지 않는다. ‘우리 연구원이 미적 감각을 살려서 그렇게 한 것 같다.’ 참 황당한 이야기가 아닐 수 없다. 내가 생각해 봐도 내 눈썹은 좀 남다른 면이 있다. 자신감이 넘쳐 턱수염으로 옮기면 어떻게 될까? 나는 크게 화를 내어 항의했다. 다음은 그 때의 논지를 현재의 생각으로 요약한 것이다. 지금은 분리되어 있지만, 그 회사 이름과 동일한 이름으로 최고의 문화상품이 선진국에도 수출되고 있지 않은가? 어떻게 연구소장이라는 자가 그렇게 이야기할 수가 있는가? 매일 아침 저녁으로 엘리베이터를 타야 하는데 다들 눈을 피하려 아무 의미없는 그런 글자들을 뚫어지게 바라보게 되는 것이 일상이다. 외국인을 크게 다르지 않을 것이다. 우리는 무의식중에 잘못된 단위 사용을 강요당하고 있는 것이다. 선진국에서 살아야 할 청소년들에게 이런 것이 무참하게 노출되어 후진성을 강요하고 있다는 것이 참으로 가슴 아픈 일이다. 그냥 ‘잘못됐다. 시정하도록 하겠다’고 했으면, 그렇게 욕먹지 않았을텐데... 사실은 교육이 잘못된 것이 일차적 원인이므로 나와 같은 교육자들의 책임이 크다고 아니 할 수 없다.

참 한심한 이야기이지만, 대학과 관련된 시설 및 이정표의 단위에서 자유로운 대학은 거의 없다고 생각한다. 이 글을 쓰기에 앞서 정말 소수에 머무를 대학들에게는 심심한 존경심을 표한다. 서울대학교, KAIST 등도 물론이다. 몇 년 전에 서울대학교에서 틀린 은행 이정표를 보았고, KAIST의 교직원 아파트 이정표도 틀려 있었다. 어느 대학의 중요 장소에 이르러, 뚜렷이 m 대신 M으로 갈라지는 길을 힘주어 대학생은 물론이고 교수에게까지 가르치고 있다. 내가 몸담고 있는 대학 관련 이정표 중에도 틀린 것이 적지 않다. 부속고등학교 이정표는 20 M를 담고 있다. 나는 청소년에게 무참하게 노출된 이러한 이정표를 가볍게 보지 않는다. 작은 것을 못지키면, 큰 일도 못한다고 믿기 때문이다. 옛날 어느 가수의 노랫말처럼 ‘우리는 하나를 모르면서 둘을 알려고 애쓰며 살지’ 격이다. 너도 나도 그렇게 하면, 결국은 이것은 국격을 떨어뜨리는 요인이 된다.

정말로 한심한 일 중에 하나는 지방의 중소기업청 이정표 하나에 M과 Km이 동시에 나오는 것을 본 적이 있다. 중소기업청의 역할을 생각할 때, 정말로 한심한 일이 아닐 수가 없다. 물론 국가 또는 지자체의 관할 하에 있는 거리를 달리다 보면, 이정표 또는 안내판의 단위가 틀린 것을 자주 보게 된다. Km이나 M은 아주 자주 만나게 되는 나쁜 단위다. 고속도로를 달리다 보면, *이탤릭체(Italic)*로 멋을 낸 MHz 를 볼 수 있다. 이것도 틀린 것이다. 단위는 반드시 로마체(Roman)로만 사용되어야 한다. 그 이유는, 예를 들면, 질량을 극단적으로 $m = 10 \text{ (kg 중 } m^{-1} \text{ s}^2)$ 이라고 쓸 수도 있는데, 이 때 질량의 크기를 말하는 변수 m 과 길이의 단위인 m을 구분해야 하기 때문이다.

단위에 관한 교육 자료로 인터넷에 돌아다니는 것을 우연히 조사한 적이 있다. 정말 부끄러

운 우리의 자화상을 보는 듯했다. 상당수의 표현이 틀렸다. 특히 *이탤릭체*로 멋을 부린 것이 많았다. 가령, $1N = 1 \text{ kg m/sec}^2$ 가 아무렇지도 않게 1 뉴톤을 설명하는데 사용되고 있다.

학자 또는 연구자들 중에서도 초 단위를 sec로 사용하는 경우가 많다. SI 단위계에서는 s가 정답이다. 물론 영국단위에서 초 단위는 sec가 맞다. 그러나 학계에서는 이미 SI 단위계로 통일되어 있다. 수년 전 나고야에서 개최된 소성가공 분야의 최대 국제학술행사인 ISTEP에서 일어난 이야기다. 내가 주재했던 세션에서 발표한 5명의 연구자 중 아시아권 국가로부터 온 3명이 모두 부분적으로 단위계를 잘못 사용한 것을 지켜보았다. 이 중에서 2명이 sec를 잘못 사용하였다. 그래서 나는 세션 종료 직전에 이런 이야기를 결론적으로 한 적이 있다. ‘여러분들이 일본 거리를 가다 보면, 가끔씩 거리 단위에서 대문자 K나 M을 볼 수 있을 것이다. 나는 한국의 거리에서 보다 더 쉽게 그들을 찾을 수 있다. 여러분들이 살고 있는 곳은 어떠한가? 나는 단위만으로 그 사회의 기술 수준을 알 수가 있다고 본다.’ 사실 생각해 보면, 나도 sec로 배웠고, 내가 단위의 중요성을 인식하기 이전에는 나도 sec를 쓰고 가르쳤던 것 같다. 내가 단위 체계의 중요성을 인식하게 된 해로부터 몇 년 지나, 유명한 학자로부터 전화가 왔다. sec 때문에 국제학술지 논문 심사결과에서 부정적으로 평가받았다는 것이었다. 우리 사회가 우리가 이룩한 기술 수준에 비하여 준법정신이 약하다는 점과 국제규범으로 정해진 단위를 아무렇게나 사용하는 것이 어떤 관련성이 있는 것은 아닐까?

우주선 발사 실패를 연이어 하던 시절, 우리나라를 대표하는 관련 회사의 이정표 단위가 틀린 것을 보고, 주요 일간지 중의 하나에 단위계의 잘못 사용에 관한 짧은 글을 실은 적이 있다. 마음속으로는 국가를 대표하는 관련 분야의 전문 회사가 이정표의 단위도 잘못 쓰는 나라에서, 이를 대표하는 회사의 수많은 소위말하는 고급 기술자들이 이를 고치고자 노력하지 않으면서 무슨 우주선? 그 당시 내 머리 속에는 이런 생각이 들어 있었던 것 같다. 이 기사를 보고, 유명대학의 유명 교수께서 거칠게 항의성 e-메일을 보내온 적이 있다. 일생을 K를 사용하면서 살아왔는데, 이것이 틀렸다는 것이 말이 되느냐는 것이었다. 너무 강한 자신에 대한 믿음과 힘이 그분의 글속에 들어 있어 내가 망신당할지도 모른다는 걱정이 앞섰다. 내가 잘못 알고 신문에까지 나간 것이 아닌지? 다행히 나는 학생을 동원해서 산자부 관련부서의 홈페이지에 있는 도량형에 관한 규정을 찾았고, 여기에는 매우 정확하게 친절하게 단위계의 올바른 사용법을 설명하고 있었다. 물론 이것은 국제 규범을 따른 것이다. 나는 한 장짜리 그 규정을 보내드렸고, 그 분께서 감사하다는 말을 e-메일로 남긴 것으로 안심하게 되었다. 어찌 보면, 그런 분이 더 많이 나와야 한다. 아직도 단위를 대수롭지 않게 생각하는 지식인, 규칙을 경시하는 지식인들이 우리 사회에는 많고, 이것이 결국은 국가적 재앙을 초래할 수도 있다는 것을 우리는 지금 경험하고 있는 것은 아닌지?

일전에 단위가 갖는 차원의 혼돈에 따라 장비의 용량을 잘못 계산한 사례를 자문한 적이 있다. kg중과 kg의 혼돈으로 발생한 계산 실수이다. 이러한 실수는 흔하다. 그 당시 이 실수는 그 회사에 불리하게 작용한 것으로 알고 있다. 협력회사에서 계산 결과에 이의를 제기했지만, 기술자들이 혼돈하여 그것에 관한 명확한 답을 하지 못한 것으로 판단되었다. 이에 관한 상세한 설명은 제3절을 참고하기 바란다.

마지막으로 검증증서에 잘못된 한심한 사례를 소개한다. 워드프로세서를 사용할 때, MPa가 자동적으로 Mpa로 고쳐지는 경우가 있다. 그런 이유인지 몰라도 국내의 자동차 관련 연구기관에

서 발행하는 공인검사성적서에 Mpa이 명시된 사례를 수차례 보았다. 국가적 수치이다. 극단적으로 말하면, 발주처에서 썩 가격을 강요하거나 거래를 중지하는 결과를 초래할 수도 있는 것이다. 어떻게 그 발행기관이 한국을 대표한다면, 한국이 무시당하는 것은 분명하다. 저항도 하지 못하고 열심히 세금내서 무시당하는 이 슬픔을 어찌 하랴! 나는 지금도 문장의 첫 번째로 나오는 단위가 이 똑똑한 워드프로세서가 편집해버릴까 봐 극도로 주의하고 있다. 세금으로 먹고사는 사람으로써 망신당하지 않기 위해서다.

3.2 차원과 단위계에 관하여

이제 단위에 관한 본질적 이야기를 좀 해 보자. 단위는 기본단위, 조립단위, 보조단위, 단위계수로 이루어져 있다.

먼저 가장 쉬운 보조단위를 설명하자면, 원주를 π 가 이에 속한다. 즉, 각도를 라디안으로 바꾸어 주는 것은 보조단위에 속한다. 단위계수에는 소문자를 사용하는 k, c, m, μ , n 등이 있고, 대문자를 사용하는 M, G, T 등이 있다. 대문자 소문자의 구분의 기준이 k와 M이라는 사실을 잊어서는 안된다.

본래 SI 단위계에서는 기본차원(단위)은 길이(m), 질량(kg), 시간(s)이다. 온도는 K(켈빈온도, 섭씨온도 + 273.15)가 기본이다. 단위계수 k를 K와 구분해야 하는 이유이다. 단위계에서 대문자 K는 당연히 온도의 단위이다. 따라서 Km, m, Mm, mm 중 차원이 다른 물리량을 표현하는 단위는 Km이다. Km은 틀리지 않았다. 다른 것은 모두 길이를 표현하는 단위이지만, Km은 온도x길이의 차원을 표시한 것이다. 역학 계산을 하다 보면, Km의 단위와 맞닥드릴 수도 있는 일이다. 전기전자 분야에서 V와 A는 기본차원인 전압과 전류를 나타내는 단위이다. 물론 컴퓨터의 용량을 나타내는 KB도 틀린 것이다. 산자부에서 제시한 도량형 규칙에 의하면, 어떠한 경우라도 10의 3승을 의미하는 단위 보조계수는 소문자 k가 되어야 한다. 가령, 'Kg is defined a thousand grams'에서 K는 틀린 것이다. 단위 규약은 영문법에 앞서는 것이다. 이러한 내용이 산자부 홈페이지에 게시된 도량형 규칙 설명 자료에 명시되어 있었던 것으로 기억한다. 어찌 생각하면 한국 정부는 미국이나 일본보다 부자다. 이것을 어기면, 범칙금을 물리도록 되어 있기 때문이다. 법대로 범칙금만 제대로 물리면 수십 조는 거두어들일 수가 있기 때문이다.

마지막으로 조립차원과 그 단위에 관하여 설명하자면, 속도의 단위는 m/s가 기본이다. 이것은 그 자체로 사용하는데 불편함이 없다. SI 단위계에서 힘은 뉴턴(N), 즉 1 kg의 질량을 1 m/s²로 가속시키는데 필요한 힘을 1N = 1kg m/s²로 정의하여 사용한다. 따라서 힘은 SI 체계에서 기본차원이 아니며, 힘은 조립단위인 N으로 표현된다. 1 kg이, 지구중력 가속도(약 9.8 m/s²)를 지탱하고 있을 때, 즉 정지하고 있을 때, 9.8N의 힘이 발생하며, 근사적으로 10 N으로 간주하여 계산하는 경우가 흔하다.

일과 일률을 정의하는 J과 W, 압력 및 응력을 나타내는 Pa도 조립단위에 속한다. 1 Pa(파스칼)은 1 평방미터의 면적에 1 N의 힘이 균일하게 작용할 때 발생하는 압력의 크기이다. 1 Pa은 소성가 공학을 비롯한 공학 목적으로 사용되기에는 매우 작은 값이다. 따라서 대개 Pa 앞에 단위보조계수인 M (10⁶), G (10⁹) 등을 동반한다.

3.3 단위의 혼돈 이유

힘 또는 질량을 취급하는데 있어 많은 기술자들이 헷갈려 하고 있다. 그 원인은 두 개의 차원 및 단위 체계가 사용되고 있기 때문이다. 길이, 힘, 시간을 기본차원으로 하는 영국단위계로 대표되는 전통단위계(설명의 편의를 위하여 사용하는 용어임)와 SI 단위체계로 불리는 길이, 질량, 시

간을 기본차원으로 하는 과학단위계가 그것이다. 따라서 기본적으로 파운드(lb)는 무게(자중, 중량)를 표현하기 위하여 정의되었고, kg은 질량을 표현하기 위한 목적으로 정의되었다. 질량의 개념이 없었을 때는 중량, 즉 무게가 일상생활에서 사용되었다. 과거 우리나라에서 사용하던 근과 관, 현재까지도 널리 사용되고 있는 영미권의 파운드가 그것에 속한다. 힘에 의존한 질량의 표현, 즉 자중으로 질량을 표현하는 방법은 과학적이지 않다. 뉴턴의 만유인력법칙에 의해 결정되는 중량(무게, 자중과 동일한 용어)은 크지는 않지만 위치에 따라 분명한 차이가 존재하기 때문이다. 그러니까 지구가 완전한 구, 진구가 아니기 때문이다. 따라서 인간이 질량의 개념을 이해하고 도입하면서부터 고전역학적으로 불변치인 질량을 표현하는 것이 과학적이기 때문에 새로운 단위체계의 확립이 필요하게 되었고, 그것이 SI 단위체계를 낳았다. 그러니까 kg은 질량을 표현하기 위하여 정의되었다. 그러나 중량을 사용해 온 인간의 오랜 습성으로 kg도 자주 kg중, 즉 정지한 물체의 질량 1 kg이 지구중력가속도 g = 9.8 m/s²에 의하여 발생하는 힘을 표현하고 있다. 가령, 210 GPa을 강의 탄성계수로 사용하고 않고 21000kg/mm²를 사용했다면, 이 kg은 kg_r 또는 kg중을 의미한다. 물론 kg중으로 표현하지 않아도 무방하다. 탄성계수의 차원을 고려했을 때, kg중이 될 수밖에 없기 때문이다. 그런데 본래 kg이 정의될 때 kg_r 또는 kg중도 함께 정의되지 않았고 힘으로는 N이 정의되었다. 정의가 중복되어서는 안된다는 것은 기본이다. 도면의 치수가 중복되면, 시비를 불러 일으키는 것과 같은 것이다. 그러니까 kg_r나 kg중은 그 이후에 편의대로 사용된 것으로 봐야 하며, 뜻이 통한다면, kg_r를 kg으로 표현할 수도 있는 것이다. 과학단위계와는 반대로 영국단위계에서 중량을 표현하기 위한 목적으로 정의된 lb가 lbm(pound mass)로 사용되는 경우도 있다. 가령 질량이 10 lb라고 했을 때, lb는 당초의 목적과는 달리 질량을 의미한다. 물론 영국단위계에서는 질량의 단위로 slug가 정의되어 있다.

하여튼 당초의 목적과는 달리 일상생활에서 두 단위계를 혼용하는 경우가 흔하다. 영미권에서 제작된 카탈로그 또는 제품의 사양서를 보다 보면, 질량관성모멘트가 lb.ft.sec²의 단위로 표현된 경우를 종종 보게 된다. 비전문가가 보면 좀 이상하겠지만, 원칙을 따른 표현이다. 이 때의 lb는 중량을 나타낸다. 이것은 정의에 따른 올바른 표현이다. 이것을 lb.ft²로 표현하는 경우도 있을 수가 있다. 이 때의 1 lb, 즉 1 lb mass는 정지하고 있는 물체가 지구중력가속도 g = 32.2 ft/sec²에 의하여 1 lb의 힘을 발생시키는데 필요한 질량을 의미한다. 그러나 질량관성모멘트의 단위를 kg.m²으로 표현하는 것이 일반적이지, kg.m.s²으로 표현되는 것은 흔하지 않다. 물론 틀린 것은 아니다. 그 이유는 두 단위 체계가 만들어진 배경이 다르지만, 아직도 전통단위계에서 과학단위계로 발전해 가는 과정에 우리가 살고 있기 때문이다.

그런데 문제는 단위계가 헷갈리게 되면 작은 실수로부터 큰 문제가 발생한다는 데 있다. 제1절에서 소개한 장비의 용량 계산 실수는 직접적인 손실을 초래한다. 이러한 문제의 원인은 앞서 말한 바와 같이 분명해 있다. 학술적으로는 힘, 하중 등을 가령, 2000 N으로 사용해야 하지만, 현장에서는 200 kg이 더 편한 것이 사실이다. 그리고 1 공압(engineering pressure)은 대체적으로 1 kg/cm²으로 계산되는데, 이런 예에서 보는 바와 같이, 실제 kg중이 많은 수식에서 사용되고 있기 때문이기도 하고, 많은 기술 자료들이 선진국에서 경험적으로 만들어졌는데, 이러한 기술 자료의 개선은 낮은 속도로 이루어지는 점도 무시할 수 없는 근본 원인이 되고 있다. 가령, 일본의 고객들을 기술 지원하다 보면, 다수가 유동응력

단위로 kg/mm²을 사용하고 있음을 직감할 수 있었다. 우리나라의 기술자들은 위로부터 물려받은 자료가 작은 이유에서 인지는 몰라도 다수가 MPa을 사용하고 있다. 다시말하면, 과거에 기술 선진국의 기술 자료 중에는 깊은 공학적 사고를 하지 않아도 사용될 수 있도록 기획된 것이 많으며, 이것들이, 기호로써의 단위 그 자체는 과학단위계를 따르지만, 그 의미를 낮익은 공학단위계에 바탕을 두고 있는 것이다. 마치 우리가 몸무게, 즉 힘을 물었을 때 70 kg, 즉 질량으로 답하는 것과 같다. 물론 70 kg을 kg중으로 인식하면 그 문제는 해결되지만, 여전히 SI 단위계의 취지에는 맞지 않는 문제가 있다. 영미권의 입장에서는 문제가 없다. 몸무게가 얼마냐고 물었을 때, 150 lb라고 하면 깔끔하다. 과거 선진국에서 생산한 기술 자료의 상당 수, 즉 소위말하는 수식 또는 공식은 일상생활에서 사용하는 단위 및 단위계의 사용 방식을 그대로 사용한 것이고, 이 공식들은 쉽게 바뀌지 않는다. 일상생활에서 너의 질량이 얼마냐고 묻는 그런 시대는 오지 않을 것이므로 이러한 약간의 혼돈은 계속될 것이다. 이러한 혼돈을 피하는 방법은 역학적 전문 지식과 단위계에 관한 사고력을 동시에 높이는 수밖에 없다.

최근들어 MPa을 kg/mm² 대신으로 사용하는 것이 일반화되었다. 우리가 작성하는 공식적인 문서, 가령 논문이나 특허 및 공적 계약서 등은 과학단위, 즉 SI 단위를 따르는 것이 원칙이다. 그러나 과거 우리나라에서 무게를 비교하는 막대저울로 물체의 중량을 측정하던 방식의 전통단위(근, 관)는 사라졌지만, 영미권의 상업용 자료 및 문서에서 영국단위(lb, ft, sec)는 전통단위계를 대표하여 여전히 살아 숨쉬고 있고, 영미권의 국제적 위상을 무시할 수 없는 것이 현실이다. 그러니까 학계의 바램과는 달리, 전통단위계를 비과학적이라고 깃뚫아버릴 수만은 없는 일이다.

3.4 단위계의 오용 실수를 방지하려면

단위가 틀리면, 개인이 갖춘 가치를 인정받을 수가 없고 그가 속한 조직의 경쟁력은 떨어진다. 올바른 단위계의 사용은 개인의 자질, 조직의 경쟁력, 나아가 국가의 국격으로 연결된다. 분명한 사실은 선진국에서 후진국으로 갈수록 단위계의 오용 빈도는 높아진다.

단위계를 실수 없이 사용하게 도와주는 규칙을 정리하면 다음과 같다.

1. 단위는 소문자로 표현되는 것이 원칙이며, 그 단위가 사람 이름에서 연유되었다면 첫 글자만 대문자로 표현한다. 예를 들면, N(뉴턴), J(줄), K(켈빈온도), Pa(파스칼), Hz(헤르쯔), W(와트), V(볼트), A(암페어) 등이 사람 이름에서 연유한 단위이고, SI 단위계의 m, kg, s와 영국단위계의 lb, ft, sec 등은 소문자로만 사용되어야 한다.
2. 단위보조 계수는 k(10³) 및 그 이하 (h(10⁻¹), c(10⁻²), m(10⁻³), μ (10⁻⁶), n(10⁻⁹) 등)는 소문자가 되어야 하고, M(10⁶) 및 그 이상 (G(10⁹), T(10¹²) 등)은 대문자를 사용해야 한다.
3. 단위는 로마체로 표현되어야 하고, 변수 등은 *이탤릭체*로 표현되어야 한다. 가령, 스프링상수와 질량이 각각 $k = \text{kN/mm}$, $m = 10 \text{ kg}$ 인 경우, 문자 k와 m이 각각 3번 사용되었지만, 헷갈림이 없다. 이러한 규칙을 따르지 않으면, 역학계산이 불가능에 가깝게 된다.

3.5 제언

나는 내가 살고 있는 도시의 자문교수로서 대학을 비롯한 교육기관이 준비한 이 도시의 이정표부터 고칠 것을 강하게 주문한 적이 있다. 나라면, 모든 간판 및 홍보물 제작자들을 대상으로 교육하고, 지키지 않으면, 시의 관계 기관 관련

사업에 참여하지 못하도록 함으로써 손쉽게 단 시간에 개선시킬 수 있다고 본다. 국가적으로도 마찬가지다. 혹자는 갑질이라고 할지 모르겠지만, 이것은 우리의 품위 문제이고 생존의 문제이다. 일본에 가면, 한국보다 틀린 단위의 빈도가 훨씬 작아지고, 미국으로 가면 틀린 단위를 거의 찾아볼 수가 없게 된다. 후발개도국으로 가면, 단위 문제가 참으로 심각한 문제임을 알 수 있게 된다. 단위계를 지키는 국민은 법도 잘 지키는 특성이 있다는 사실!

우리는 무엇인지 단숨에 급하게 해치우거나 획득하려는 경향이 없지 않다. 그리고 기초적인 규약을 나 편의로 사용하는 경향도 강하다. 그래서인지 우리의 생활 수준에 비하여 의식 수준은 이에 못미치는 것이 현실이다. 부정확한 단위 사용 사례 및 경시 풍조도 이런 사회적 병리 현상의 일면이다. 이제 각자가 자기의 가치를 스스로 갈아먹는 요소는 없는지 되돌아 보는 습관이 필요하다.

그리고 단위계에 관한 전문성을 요하는 경우, 단위계와 함께 전문 지식의 고양이 필수적이므로 관련 교육 기회에 적극 참여하고 대화하면서 완성도를 높여가기를 권유한다. 특히 역학적 지식은 직접 가치로 전환될 수 없는 일종의 교양 및 언어, 즉 기술자들 간에 소통되는 고품위 언어이기 때문이다. 공학적 지식, 특히 역학적 지식의 고양과 함께 단위계의 사용에 관한 믿음이 견고해질 것이다.

4. 공지사항

4.1 MFCAE 2018

AFDEX의 사용자 컨퍼런스를 주 목적으로 MFCAE 2018가 8월 16일~17일 진주 MBC 컨벤션에서 실시될 예정이다. MFCAE는 1996년부터 경상대에서 주관해 온 소성가공 CAE 기술 컨퍼런스로 2014년부터 국제행사로 개칭되어 왔다.

이번 행사의 특징은 교육에 초점을 맞추고 있다는 점이다. 첫날 오전에는 GISPAM 2018에 참여하는 학부생(멕시코 25명, 말레이시아 2명, 한국학생 10명)들에게 발표할 기회가 주어지며, 오후 때는 개발자들이 비교적 많은 시간을 할애받아 학술적 및 기술적 가치가 높은 8개의 토픽에 관하여 교육차원에서 상세하게 설명 또는 발표를 한다. 둘째날 오전에는 대학원 세션이 준비되며, 약 15여편의 연구 및 적용 사례 또는 연구계획이 발표될 예정이다. 이와 아울러 오전 시간에는 사용자들의 주문을 받아 특수 기능에 관한 맞춤형 교육을 여러 팀으로 구분하여 실시할 계획이다. 추가적인 교육이 필요할 경우, 둘째날 오후 시간까지 질의 및 응답 또는 특수 기능 교육을 실시할 계획이다. 선착순으로 100여명의 참가자들에게는 교재 ‘소성가공 시뮬레이션 (전만수 외 10명)’이 증정될 예정이다.

사용자 분들께서는 적극적으로 참여하시어 시뮬레이션 소프트웨어 활용방법 및 전문지식을 습득하시길 권유 드린다. 상세한 내용은 업체군 실장에게 문의하기 바란다.

장소	날짜	지역	발표 내용
MBC 컨벤션	2018년 8월 16~17일	진주	-신기능, 이론 및 실제 -적용 사례

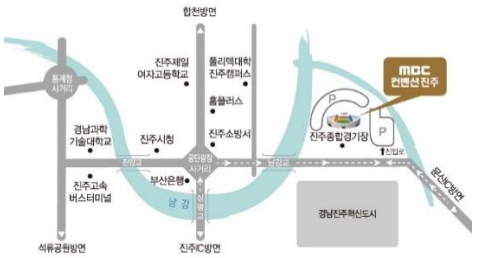


Table 4.1 MFCAE 2018 계획		
일시: 8월 16일 목요일	장소: MBC컨벤션 1F	
09:00-10:00	일정	발표자
GISPAM 세션		
10:00-12:00	AFDEX를 활용한 단조공정 해석 1	GISPAM Team 1
	AFDEX를 활용한 단조공정 해석 2	GISPAM Team 2
	AFDEX를 활용한 단조공정 해석 3	GISPAM Team 3
	AFDEX를 활용한 단조공정 해석 4	GISPAM Team 4
	AFDEX를 활용한 단조공정 해석 5	GISPAM Team 5
	AFDEX를 활용한 단조공정 해석 6	GISPAM Team 6
점심 (12:00-13:00), MBC컨벤션 1F		
(대형 세션)		
13:00-14:30	AFDEX의 주요 기능 개선 요약	전만수 (경성대학교)
	이명철의 관과 그들	황재근 (서울과학기술대)
	공정 최적화	황재근 (경성대학교)
	포장 리테의 기술과 그 응용	이민철 (경북대학교)
Break time (14:30-14:50)		
14:50-16:20	AFDEX를 활용한 판재 및 판단조의 식용	홍석우 (공주대)
	AFDEX를 활용한 열처리해석	이윤호 (부산대)
	AFDEX를 활용한 미세조직 해석	Mr. Iran (경성대학교)
	AFDEX의 응고/열처리 기능	유다순 (고양대)
Break time (16:20-16:40)		
(대형 세션)		
16:40-18:00	주요 해석자의 활동방법	윤호근 (경북대학교)
	AFDEX V1802 소개 및 활용	황재근 (경성대학교)
	제품공정의 해석	Mr. Ranga (영국대학교)
저녁 휴식 (18:00-20:00), MBC컨벤션 1F		

일시: 8월 17일 금요일		
장소: MBC컨벤션 1F		
09:00-10:00	일정	발표자
(1 발표자)		
09:00-10:00	요괴 자동차산업관련 공정 중 소프트웨어 해석 및 검증	김영민 (경안대)
	냉간인발 공정 최적화 공정 시뮬레이션	이근희 (세종대학교)
	배열기어의 공정설계 기술	노태우 (포항공대)
	배열기어의 동적해석에 대한 연구	정호준 (포항공대)
	다단 Turner의 Shearing 절단 시 Tool 간격의 영향 절단면 분석	박영준 (조선공업)
	올바른 제1부 상설의 생산성 및 동적해석에 대한 최적 설계 연구	정지영 (우성공업)
10:00-12:00	고온 용융용의 최적 설계 방법	Mr. Koo (경성대학교)
	항공용 피팅 제작 공정의 해석	한동현 (경성대학교)
	항공기용 냉간인발 공정 그릴	유재훈 (경성대학교)
	인동부과 공정을 이용한 차량용 상용 공정	변용호 (경성대학교)
10:00-12:00	DD(Deep drawing and bending) 공정에서 용접요소와 최적화제를 이용한 변형률 장의 국소화 분석	이명철 (공주대)
	해석결과와 판재성형에 관한 프로그래밍을 통한 공정 용접요소해석	노태우 (공주대)
	탄소성 공전요소해석 I	(서울과학기술대)
	탄소성 공전요소해석 II	(서울과학기술대)
	단조 시뮬레이션 활용 사례 I	(한국과학기술대)
	단조 시뮬레이션 활용 사례 II	(한국과학기술대)
점심 (12:00-13:00), MBC컨벤션 1F		
(2 발표자)		
09:00-10:00	일정	담당자
(교육 세션)		
Table-1	기본 사용법 교육: 실습 및 Q&A	황재근 (경성대학교)
Table-2	재료 물성치 측정/측정결과(응용) 실습 및 Q&A	김영민 (경성대학교)
Table-3	특수공정(열간인발/냉간인발) 실습 및 Q&A	정호준 (경성대학교)
Table-4	판재 및 판단조 해석 실습 및 Q&A	유재훈 (경성대학교)
점심 (12:00-13:00), MBC컨벤션 1F		

4.2 정례교육

AFDEX 정례교육이 2018년도에 총 10회 예정되어 있으며, 그 중 5회는 진행되었다. 아래 표는 추후 진행할 AFDEX 교육 일정이다. 한편, 특정 기업체를 대상으로 하는 교육은 본사 교육장에서 수시로 실시되고 있다.

회차	장소	날짜	지역	과정
6	부산제조기반 전산교육장	7.19(목) ~20(금)	부산	중급
7	경상대학교	7.16(월) ~8월17일(금)	진주	영여강의, 상세이론
8	부산제조기반 전산교육장	8.30(목) ~31(금)	부산	중급
9	HPC 이노베이션허브	10.4(목) ~5(금)	판교	중,고급
10	경남 테크노파크	11.5(월) ~6(화)	창원	중급

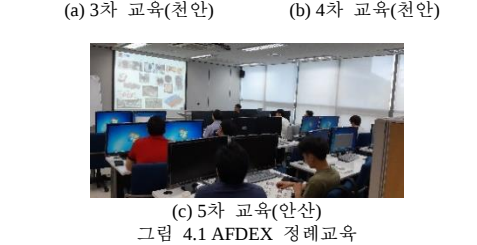


그림 4.1 AFDEX 정례교육

4.3 기술전문기업(K-ESP) 선정

지난 4월 5일 MFRC는 설계/해석분야 기술전문기업으로 지정받았다. 정부는 K-ESP 지정을 통하여 개방형 혁신생태계 조성을 위해 우수한 역량을 보유한 기업을 통해 중소기업과의 협력 R&D 활성화의 촉진을 추구하고 있다.

MFRC는 정부가 K-ESP 기업체의 참여를 필요로 하는 정부의 R&D 지원 사업에 중소기업과 공동으로 참여할 수 있다. 상세한 내용 및 참여 희망 사용자들께서는 MFRC의 업체군 실장에게 문의하기 바란다.

4.4 국내외 전시회 참가

4.4.1 Hannover Messe



MFRC는 4월 23일부터 27일까지 5일간 독일 Hannover Messe에 참가하였다. 하노버메세는 세계 최대의 기계기술 및 제품 전시회이다.

4.4.2 알테어 유럽 전시회(ATC)



10월 16일부터 18일까지 3일간 프랑스, 파리에 Altair's European Technology Conference가 개최된다. 다양한 분야의 전문가들이 참석하는 유럽의 주요 PLM 기술 전시회로 MFRC는 AFDEX 전시와 함께 신 기능 발표를 할 예정이다.

4.4.3 EuroForge 전시회



11월 13일부터 15일까지 3일간 독일, 베를린에서 EuroForge conFAIR가 처음 개최된다. 단조 산업의 산업체들의 전시회와 최신 단조 기술, 경량화, 단조 산업 4.0, 세계 시장의 동향에 대한 발표회로 구성되며, MFRC는 플레티넘 스폰서로 참여할 예정이다.

4.4.4 북미 마케팅 행사 개최 예정

최근 AFDEX의 북미 사용자들이 증가하고 있는 추세에 있으며, 매일 250여명이 북미지역에서 AFDEX 홈페이지를 방문하고 있다. 이러한 북미지역의 관심에 부응하기 위하여 올해 10월경에

Altair의 본사 및 멕시코 시티에서 마케팅 행사를 개최할 계획이다. Altair 본사에서는 APA 사용자들을 대상으로 사용법 교육 및 컨설팅 행사를 개최할 계획이며, 멕시코에서는 대리점 개소식과 함께 잠재고객과의 만남 행사를 가질 계획이다.

4.5 GISPAM 2018

7월 16일부터 5주간 GISPAM 2018이 경상대학교에서 개최된다. GISPAM 2018은 멕시코 주에서 총 25명의 대학생들이 참가하며, 경상대학교 대학원생 및 학부생 약 15명과 말레이시아 대학생 2명(MFRC 인턴 연수생)이 참가하는 국제 교류 및 교육 행사이다. 멕시코 참가자의 예산은 모두 멕시코 주정부에서 지원된다.

GISPAM은 5년전 멕시코 주정부가 경제적 지원 조건으로 멕시코 주의 우수 장학생(상위 5%

이내)을 대상으로 한 AFDEX 교육을 요청하면서 시작되었으며, 올해로 다섯 번째의 행사로 발전하였다. 2차년도부터 작년까지 국내에서 개발된 엔지니어링 소프트웨어 중에서 해외 시장 개척에 적극적인 회사의 소프트웨어 교육까지 확대되어 실시되었다. 올해는 멕시코의 요청으로 AFDEX 교육에 집중할 계획이다.

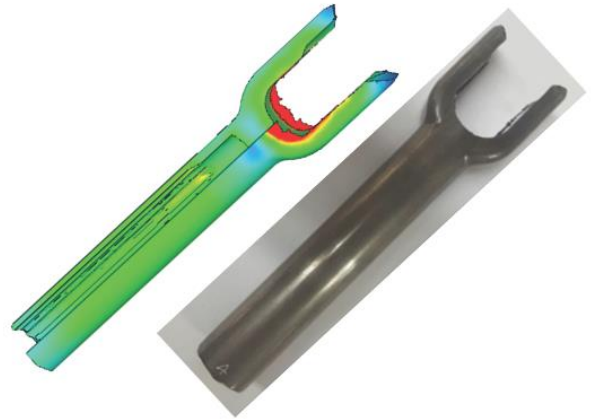
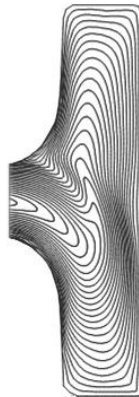
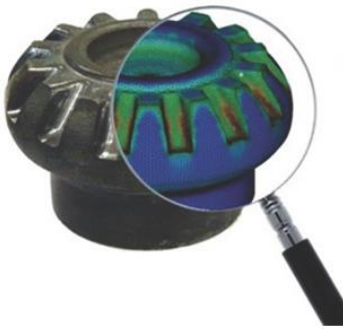
이번의 교육은 영어로 실시되며, 역학이론, CAD 실습, AFDEX의 실습 및 창의적 응용, 기술 문서 작성 및 발표 체험의 주제를 포함한다. 아울러 기업체 방문, 역사현장 및 문화 체험 등의 각종 행사가 병행된다. 사용자 또는 관심을 가진 분들에게서는 전체 또는 부분적으로 교육에 참여할 수 있다. 상세한 사항은 경상대학교 대학원생 유재동(jdyoo@afdex.com)에게 연락하기 바랍니다.

4.6 창원지원센터 개소

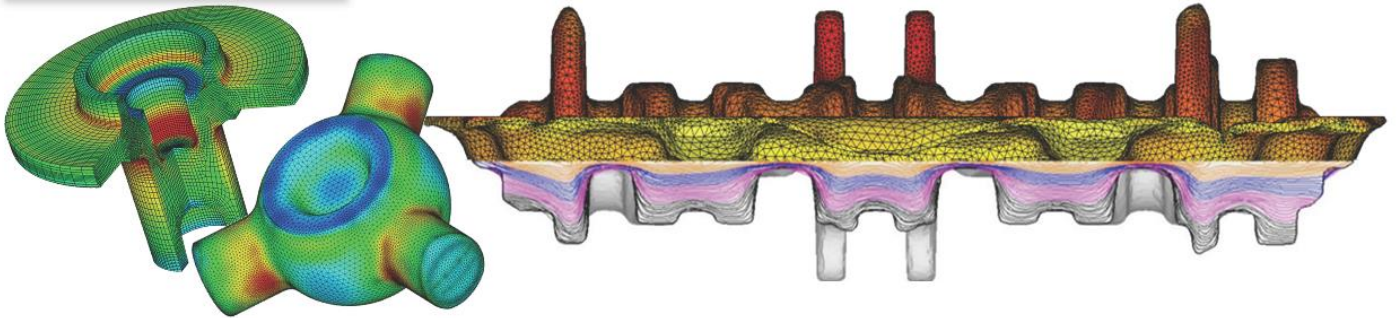
MFRC는 지난 5월 1일 경남테크노파크 본부동 509호에 창원지원센터를 개소하였다. 이로써 MFRC는 서울, 천안, 창원, 진주에 이르는 전국적인 연구소 또는 지원센터 망을 갖추게 되었으며, 창원지원센터의 개소를 통하여 경상권 기술 지원 및 컨설팅 업무의 빠른 대응이 가능해졌으며, 진주 기술연구소의 개발 업무 특화 발전의 기틀을 마련하였다.

이 연구센터는 현장 경험이 풍부한 문호근 박사를 중심으로 운영되며, 단조 시뮬레이션 기술과 현장 간의 간격을 좁히는데 크게 기여할 것으로 기대하고 있다. 단조 시뮬레이션 관련 토의 및 교육지원도 가능하니 많은 방문 바랍니다.

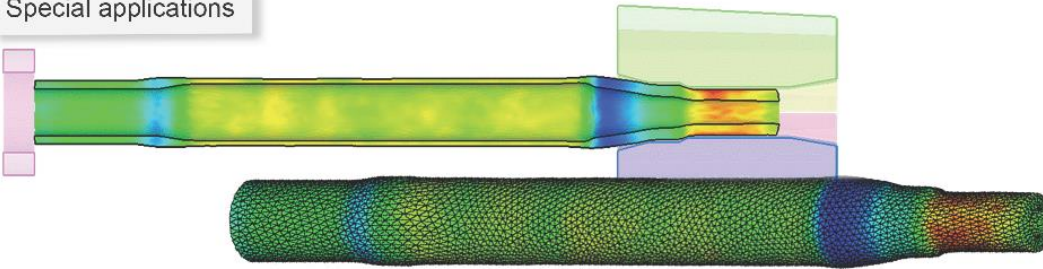
Verification



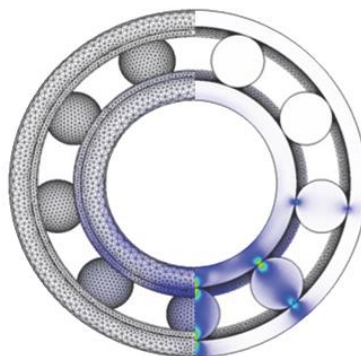
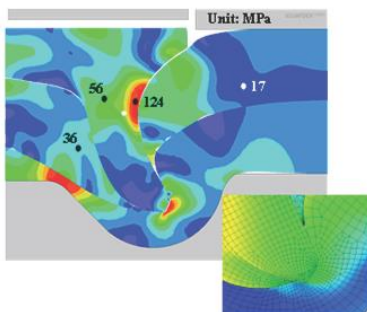
Typical forging applications



Special applications



Multi-body process simulations



Complete simulation

